

Klimat- och säsongspåverkan på försurningsrelaterade markvariabler

– data från Markinventeringen och SMHI:s karttjänst Luftweb

Ett projekt från program Försurning inom SLU:s miljöanalys

Torbjörn Nilsson

Johan Stendahl

Institutionen för mark och miljö

Sveriges lantbruksuniversitet

Februari 2020

Innehåll

Syftet med projektet	4
Bakgrund	4
Metoder.....	6
Urval av data från Markinventeringen	6
Data från SMHI:s karttjänst Luftweb	7
Klimatklassificering	7
Resultat.....	9
Klimatets påverkan på markkemin i O-horisonten (humuslagret).....	9
Klimatets påverkan på markkemin i B-horisonten	13
Diskussion.....	15
Litteratur	17

Syftet med projektet

Syftet med projektet var att undersöka om stora mellanårsvariationer i försurningsrelaterade markkemivariabler (pH, utbytbart aluminium och basmättnadsgrad) från tre olika provtagningshorisonter (O, B och C) på några av Markinventeringens permanenta provytor kunde förklaras av mellanårsvariationer i nederbörd och temperatur. Vissa av dessa analysvärden (pH-H₂O i C-horisonten och basmättnadsgraden i B-horisonten) ingår som underlag för beräkning av skogsmarkens försurningsstatus inom miljömålsarbetet.

Markkemivariablerna påverkas bl.a. av markvattenhalten, som under torra och varma perioder ofta är låg, men under blöta och kalla perioder istället ofta är hög.

Hypotesen var att markprover med provtagningsdatum som föregåtts av torrt och varmt väder har lägre pH, basmättnadsgrad och högre halter av utbytbart Al, samt totalaciditet, jämfört med när markproverna har tagits vid tillfällen med blött och kallt väder.

Bakgrund

Det är känt från många undersökningar (exv.: Haines & Cleveland, 1981; Slattey & Ronnfelt, 1992; Wuest, 2015) att markkemiska variabler (däribland även försurningsrelaterade variabler som pH, utbytbara katjoner, basmättnadsgrad och utbytbart aluminium) har en viss årstidsbunden variation, men ibland även en mellanårsvariation som till största delen beror variationer i markvattenhalt. Denna variation i markvattenhalt beror i sin tur på väderlek och klimat (främst då nederbörd och temperatur). I Sverige har det dock gjorts förhållandevis få undersökningar av hur markkemiska variabler i skogsmark påverkas av variationer i nederbörd och temperatur under året och mellan år. Vi känner bara till två studier (Lundell, 1987; Skyllberg, 1991).

Inom Markinventeringen utförs många kemiska analyser på de markprover som i många fall insamlats från olika djup inom permanenta provytor på svensk skogsmark. Vissa av dessa analysvärden (pH-H₂O i C-horisonten och basmättnadsgraden i B-horisonten) ingår som underlag för beräkning av skogsmarkens försurningsstatus inom miljömålsarbetet.

Även om säsongsvariationen i exempelvis pH-H₂O troligtvis minskar med provtagningsdjupet (bl.a. p.g.a. minskad variation i markvattenhalt, samt lägre biologisk aktivitet), så kan den vara signifikant. Nehring (1935) rapporterade om en säsongsvariation på upp till 0.7 pH-enheter i en tysk skogsjord på 5-25 cm djup. Bowser & Leat (1958) uppgav att säsongsvariation i E- och B-horisonten i en skogsjord nära Edmonton, Kanada kunde vara ända upp till 1.9 pH-enheter. Lundell (1987) redovisade en säsongsvariation på 0.47 pH-enheter för prov tagna på 10-15 cm djup i mineraljorden i svensk skogsmark.

Under sommaren är normalt markvattenhalten låg. Då ökar jonstyrkan i markvattnet och pH minskar, samtidigt som halten utbytbart aluminium ofta ökar. Under vår och höst är markvattenhalten oftast högre, varvid salthalten i markvattnet späds ut och jonstyrkan minskar. Halten utbytbart aluminium minskar då vanligtvis och pH ökar.

Variationen i nederbörd, temperatur, avdunstning etc. är dock stor mellan olika år. Dessutom kan provtagningsdatum mellan åren variera för samma provyta inom Markinventeringen. Ett år kan provtagningen ske i maj kort efter snösmältningen och i ett efterföljande omdrev (10 år senare) kan provtagningen istället ske i slutet av en torr sommar. Den skillnad som då eventuellt kan noteras för de markkemiska variablerna kan då till stor del bero på markvattenhalten. Vi vill således undersöka

om eventuella skillnader, på provytelnivå, mellan olika år kan förklaras av skillnader i klimatförhållanden. Speciellt intressant är det att studera om de markkemiska förhållandena i B- och C-horisont kan påverkas av mellanårsvariationer i väderleksförhållanden. Detta eftersom markkemin i dessa horisonter används för beräkning av skogsmarkens försurningsstatus.

Metoder

Markkemiska data från Markinventeringens permanenta provytor från tre inventeringsperioder 'omdrev' (1983-1987, 1993-2002 och 2003-2012) kopplades ihop med klimatdata från SMHI:s karttjänst Luftweb under samma period. De permanenta provytor som lades ut under inventeringsperioderna 1983-1987 (omdrev 1), återinventerades 1993-2002 (omdrev 2) och 2003-2012 (omdrev 3). Detta innebär då att markprovtagning skett på provytorna vid tre olika tillfällen, med ca 10 årsintervall. Inventeringssäsongen inträffar vanligtvis från slutet av maj/början av juni till slutet av september. Markprovtagningen på samma provyta, men under olika omdrev, har då ofta skett under olika månader och/eller under år/månader som varit torra eller blöta, respektive varma eller kalla.

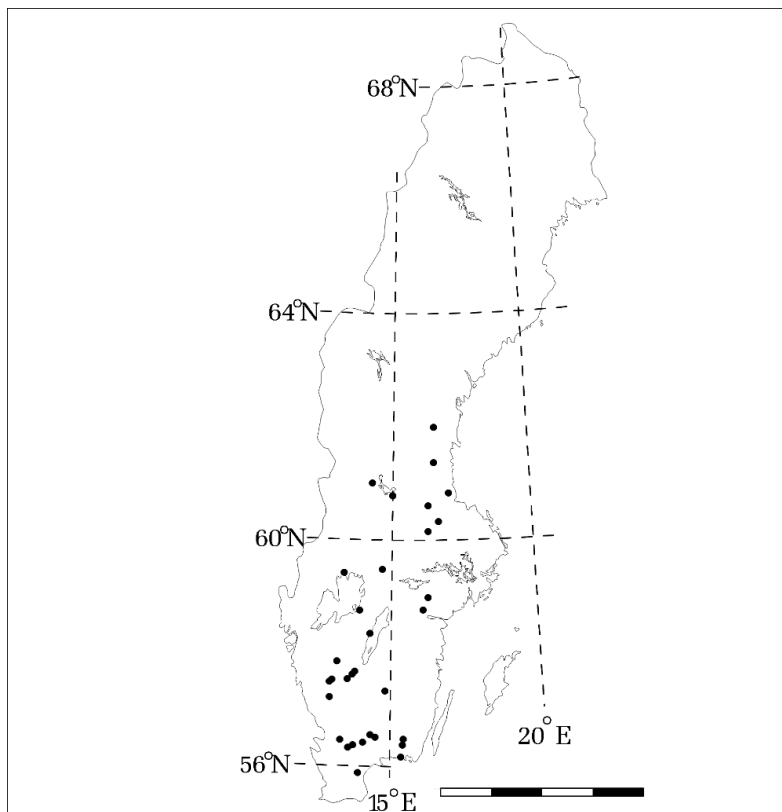
Urval av data från Markinventeringen

En beskrivning av Markinventeringen och de markkemiska analyser som utförs inom denna inventering finns i Nilsson m.fl. (2015).

För att undvika inflytande från sen snösmältning på markvattenhalten, som i sin tur kan påverka markkemivariabler, valdes enbart provytor ut från södra Sverige (Götaland och Svealand, utom norra Dalarna).

Provytor där jordarten klassificerats som hållmark eller torvmark valdes bort, d.v.s. enbart provytor på morän och sediment togs med. Vidare togs bara de provytor med där den i fält bedömda kornstorleken i mineraljorden var grovsand eller finare.

Tanken var från början att urvalet av provytor dessutom skulle ske utgående från en kombination av hur pH-H₂O, utbytbart aluminium och basmättnadsgrad i O-, B- och C-horisonterna förändrats på provytorna mellan omdreven. Denna metod visade sig dock vara svår att genomföra, genom att de olika kombinationerna gav ett mycket litet urval av provytor. Målet var att urvalet skulle ge ca 30 provytor. I slutändan valde vi en förenklad urvalsmetod, som innebar att de provytor som valdes ut skulle ha en förändring (mellan omdrev 1 och 2, respektive omdrev 2 och 3) av pH-H₂O i O-horisonten som var större än 0.26 pH-enheter. Denna urvalsmetod gav 32 provytor med data från O-horisonten. 15 av dessa provytor hade även data på markkemin i B-horisonten. I figur 1 visas var de 32 provytorna är lokaliserade.



Figur 1. De 32 utvalda provytornas geografiska lokalisering.

Data från SMHI:s karttjänst Luftwebb

Utgående från de geografiska koordinaterna för de 32 provytor som utvaldes (se ovan) kunde vi ladda ner årsvärden, månadsvärden och dygnsvärden på nederbörd och temperatur under perioden 1983-2012 från SMHI:s karttjänst Luftwebb (<http://luftwebb.smhi.se/>).

Klimatklassificering

Under de månader markprovtagning skett på de 32 provytorna ($3 \times 32 = 96$ tillfällen) så gjordes en grov klassificering av klimatet (normalt, torrare än normalt, blötare än normalt, kallare än normalt, varmare än normalt). Tanken var från början att använda månadsvärden på klimatet för att bedöma klimatet under de månader markprovtagning skett på resp. provyta och omdrev. Markprovtagningen kan dock ske under alla dagar under en månad, d.v.s. även i början av en månad och då återspeglar den månadens klimat dåligt av om markvattenhalten i början av månaden är hög eller låg. Därför valde vi att i slutändan av projektet titta på hur i första hand nederbördssumman men även medeltemperaturen varit under 14-dagarsperioden innan markprovtagningen, samt utgående från detta göra en förenklad bedömning om klimatet kunde klassificeras som: T = torrt, N = normalt eller B = blött. Ett exempel på detta visas i tabell 1.

Jämförs resultatet av klimatklassificeringen sinsemellan de 32 provytorna så varierar detta beroende på att de olika provytorna provtogs antingen a) olika år inom samma omdrev eller b) olika datum inom samma inventeringsår. Även om några provytor provtogs samma eller nästan samma datum, så kunde resultatet av klimatklassificeringen vara olika beroende på att provytorna låg så långt från varandra att nederbördsklimatet (bl.a. beroende på åskregn) skiljde sig åt (Bilaga 1). (Det borde varit fler provtagningstillfällen där klimatet klassificerats som normalt och färre som torrt eller blött).

Tabell 1. Jämförelse av klimatet vid olika provtagningsstillfällen på provytan med beteckningen 'unik yta' = 855633203.

Inventeringsperiod:	1983 - 1987	1993 - 2002	2003 - 2012
Omdrev:	1	2	3
Provtagningsdatum:	1985-05-29	1996-07-18	2005-06-14
<u>Klimat 0-14 dagar innan provtagning</u>			
Nederbördssumma (mm):	0	55	26
Temperatur:	9.6-17.2	11.9-15.4	9.1-14.0
Enkel klimatklassificering:	T = Torrt (1)	B = Blött (3)	N = Normalt (2)

Vid jämförelsen av klimatet mellan två olika omdrev (omdrev 1 och 2, eller omdrev 1 och 3, eller omdrev 2 och 3) bildades nya klimatklasser enligt tabell 2. Den numeriska klimatklassen (1, 2 eller 3) för det senare omdrevet minskades då med den numeriska klimatklassen från det förra omdrevet. Exempel: om den enkla klimatklassificeringen för en provyta under omdrev 2 var blött (numeriskt värde = 3) och motsvarande klass under omdrev 1 var torrt (numeriskt värde = 1), blir den nya klimatklassen (förändring av klimatet) = $3 - 1 = 2$.

Tabell 2. Beskrivning av hur nya klimatklasser bildats genom att jämföra den enkla klimatklassificering mellan två olika omdrev. I detta fall beskrivs de nya klimatklasserna vid jämförelsen av klimatet före provtagningsarna i omdrev 1 och 2.

Ny klimatklass	Innebär
-2	Det var betydligt torrare under 14-dagarsperioden före provtagning i omdrev 2 jämfört med omdrev 1 (d.v.s. torrt – blött = $1 - 3 = -2$).
-1	Det var något torrare under 14-dagarsperioden före provtagning i omdrev 2 jämfört med omdrev 1 (d.v.s. torrt - normalt = $1 - 2 = -1$, eller normalt – blött = $2 - 3 = -1$).
0	Ingen förändring av klimatklassen i omdrev 2 jämfört med omdrev 1.
1	Det var något blötare under 14-dagarsperioden före provtagning i omdrev 2 jämfört med omdrev 1 (d.v.s. normalt – torrt = $2 - 1 = 1$, eller blött – normalt = $3 - 2 = 1$).
2	Det var betydligt blötare under 14-dagarsperioden före provtagning i omdrev 2 jämfört med omdrev 1 (d.v.s. blött – torrt = $3 - 1 = 2$).

Vid jämförelse mellan omdreven innebar de nya klimatklasserna att de innehöll olika antal provytor mellan dessa nya klimatklasser (Tabell 3).

Tabell 3. Antal provytor inom varje ny klimatklass för varje jämförelse mellan inventeringsperiod/omdrev.

Ny klimatklass	Jämförelse omdrev 1-2	Jämförelse omdrev 1-3	Jämförelse omdrev 2-3
	<u>Antal provytor inom varje ny klimatklass och omdrev</u>		
-2	2	5	3
-1	4	5	8
0	11	6	11
1	9	6	8
2	5	10	3

Dessa nya klimatklasser användes sedan för att undersöka om signifikanta förändringar i markkemin mellan omdreven var kopplat till skillnader i de nya klimatklasserna mellan omdreven.

Resultat

Klimatets påverkan på markkemin i O-horisonten (humuslagret)

Medelvärde för de olika markkemiska variablerna varierar något mellan omdreven (Tabell 4), men variansanalys visade att dessa skillnader inte var signifikanta.

Tabell 4. Medelvärde, minimi- och maximivärden, samt standardavvikelse för pH-H₂O, utbytbart Al (mmolc/kg torrsustans), totalaciditet (mmolc/kg torrsustans), basmättnadsgrad (%) och effektiv basmättnadsgrad (%) i O-horisonten (humuslagret) från de 32 utvalda provytorna.

Variabel	Medel	Min.	Max	St. avvikelse
<u>Period: 1983-1987</u>				
pH-H ₂ O	4.009	3.37	5.35	0.427
Utbytbart Al	10.69	1.70	46.5	9.06
Totalaciditet	614.7	111.6	1035	271.8
Basmättnadsgrad	10.76	4.81	42.07	6.70
Eff. basmättnadsgrad	82.09	39.15	98.76	15.41
<u>Period: 1993-2002</u>				
pH-H ₂ O	3.927	3.15	4.86	0.438
Utbytbart Al	9.94	0.896	27.8	7.02
Totalaciditet	660.6	114.6	1199	339.8
Basmättnadsgrad	10.25	1.38	32.35	6.13
Eff. basmättnadsgrad	80.25	16.84	99.26	20.49
<u>Period: 2003-2012</u>				
pH-H ₂ O	3.903	3.36	5.00	0.386
Utbytbart Al	9.94	0.234	50.4	9.32
Totalaciditet	631.0	268.0	1127	239.9
Basmättnadsgrad	11.85	2.48	27.12	6.63
Eff. basmättnadsgrad	85.15	26.18	99.82	16.07

I tabell 5 visas ett exempel för en av provytorna hur klimatet klassificerades vid de olika provtagningstillfällena, samt hur markkemin på denna provyta varierade mellan omdreven.

Med hjälp av variansanalys konstaterades att det inte fanns några signifikanta skillnader i de studerade markkemivariablerna mellan de nya klimatklasserna när man jämförde omdrev 1 med omdrev 2. Vid en jämförelse mellan omdrev 1 och omdrev 3 fanns det dock flera signifikanta skillnader. Jämfördes omdrev 2 med omdrev 3 kunde signifikanta skillnader bara observeras mellan tre klimatklasser och endast för utbytbart Al (Tabell 6). Det skall dock noteras att de nya klimatklasserna bara innehöll 2-11 provtytor (Tabell 3). De signifikanta skillnaderna, som uppräknas i tabell 6, kan också ses i figur 2-6.

Vår hypotes var att prover tagna när det varit torrt skulle ha lägre pH och basmättnadsgrad, men ha högre halter av utbytbart Al och totalaciditet, jämfört när prover (inom samma provyta) tagits vid tillfällen när det varit blött. Om man studerar de signifikanta förändringarna mellan omdrev 1 och 3,

så stämmer inte denna hypotes för pH (Tabell 6 och Fig. 2), bara delvis för utbytbart Al (Fig. 3) och basmättnadsgraden (Fig. 4).

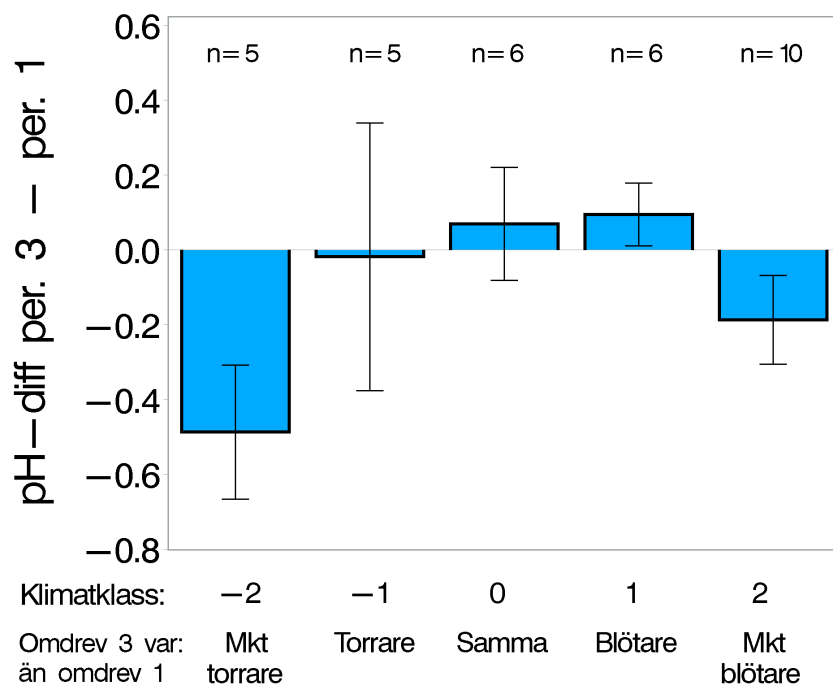
Tabell 5. Jämförelse av klimat och markkemi på provytan med beteckningen 'unik yta' = 855633203.

Inventeringsperiod:	1983 - 1987	1993 - 2002	2003 - 2012
Omdrev:	1	2	3
Provtagningsdatum:	1985-05-29	1996-07-18	2005-06-14
Klimat 0-14 dagar innan provtagning			
Nederbördssumma (mm):	0	55	26
Temperatur:	9.6-17.2	11.9-15.4	9.1-14.0
Enkel klimatklassificering:	Torrt	Blött	Normalt
Markkemivariabel			
pH-H ₂ O:	3.92	3.51	3.87
Utbytbart Al (mmolc/kg):	11.2	16.6	9.67
Totalaciditet (mmolc/kg):	404	1040	822
Basmättnadsgrad (%):	6.97	6.96	11.8
Eff. basmättnadsgrad (%):	73.0	82.4	91.9

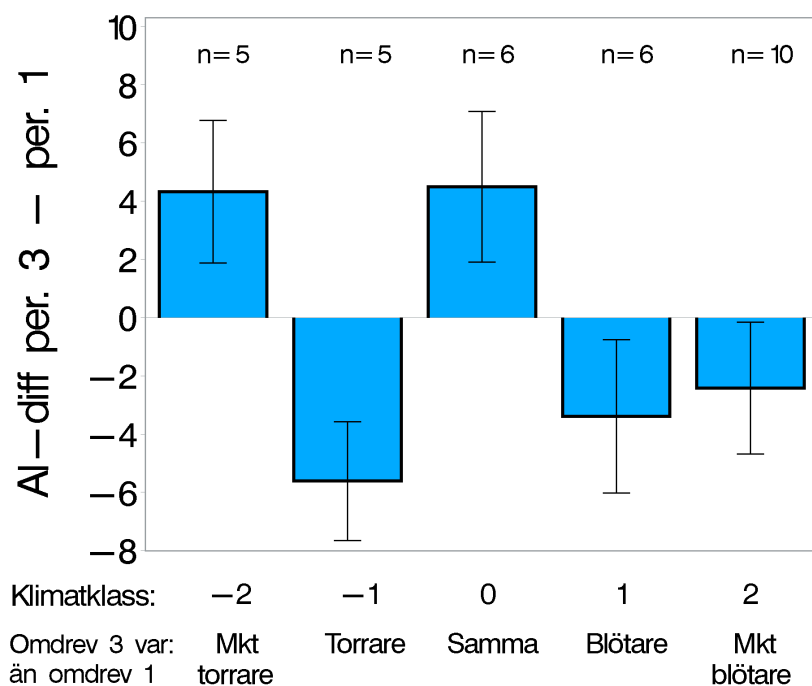
Tabell 6. Variansanalys för att detektera signifikanta förändringar i markkemi mellan inventeringsperioderna kopplat till de nya klimatklasserna (från tabell 2).

Förklaring: Ex.: I jämförelsen mellan omdrev 3 och 1 finns, när det gäller pH-H₂O två signifikanta skillnader; mellan ny klimatklass 1 och ny klimatklass -2, samt mellan ny klimatklass 0 och ny klimatklass -2.

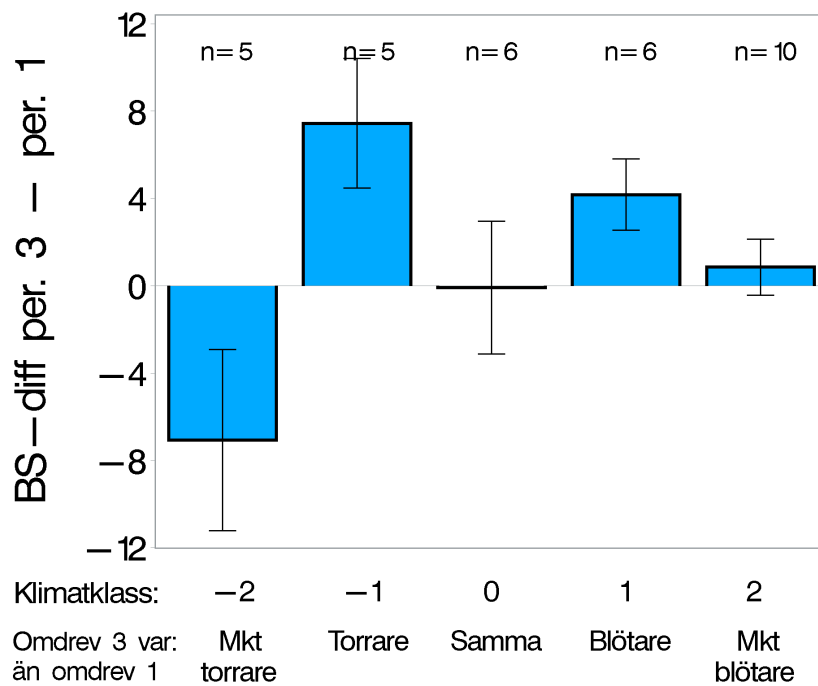
Markkemivariabel	Jämförelse av omdrev 2 och 1	Jämförelse av omdrev 3 och 1	Jämförelse av omdrev 3 och 2
<u>Signifikanta skillnader mellan de nya klimatklasserna</u>			
pH-H ₂ O	-	1 och -2, 0 och -2,	-
Utbytbart Al	-	2 och 0, 1 och 0, 0 och -1, -1 och -2	1 och -1, 0 och -1
Totalaciditet	-	-	-
Basmättnadsgrad	-	2 och -2, 1 och -2, -1 och -2	-
Eff. basmättnadsgr.	-	0 och -1	-



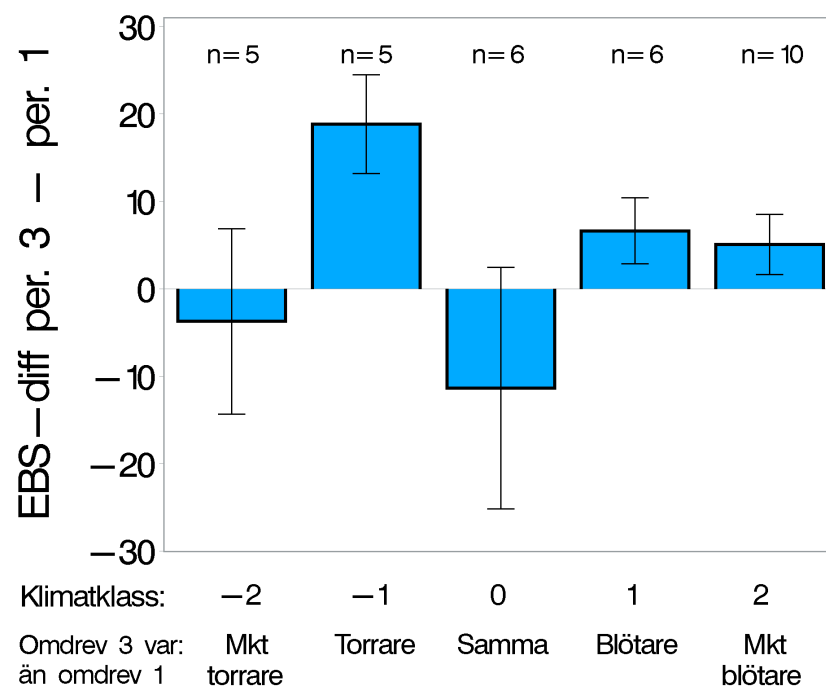
Figur 2. Förändringen av pH-H₂O i O-horisonten mellan inventeringsperioderna 1983-1987 och 2003-2012 uppdelat på de nya klimatklasserna. De blå staplarna visar medelvärdet av pH-förändringen inom respektive klimatklass och felstaplarna visar medelfelet. Signifikanta skillnader i pH-förändringen mellan klimatklass -2 och 1, samt mellan klimatklass -2 och 0.



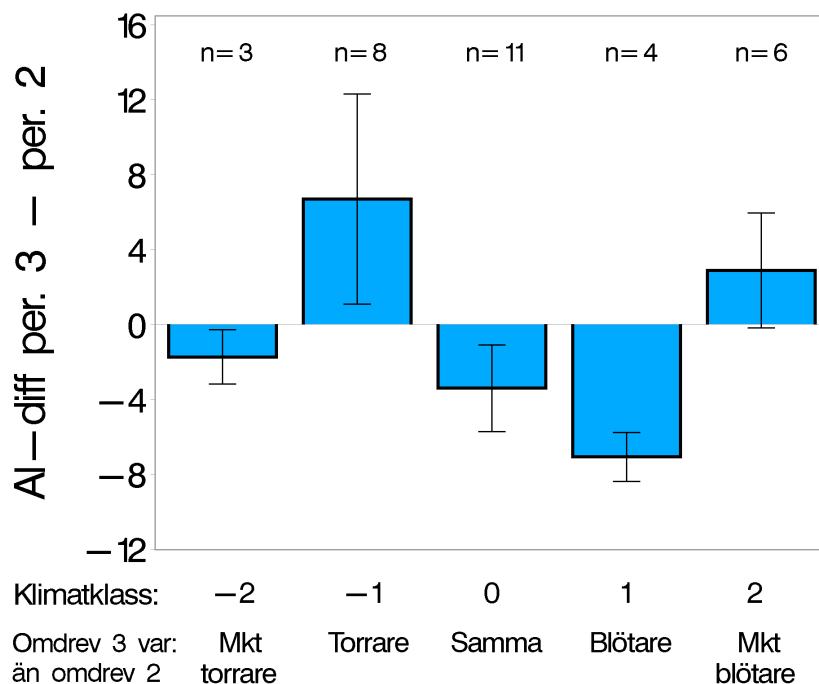
Figur 3. Förändringen av utbytbar Al (mmolc/kg torrs substans) i O-horisonten mellan inventeringsperioderna 1983-1987 och 2003-2012 uppdelat på de nya klimatklasserna. De blå staplarna visar medelvärdet av förändringen i utbytbar Al inom respektive klimatklass och felstaplarna visar medelfelet. Signifikanta skillnader i förändringen av utbytbar Al mellan klimatklasserna -2 och -1, -1 och 0, 0 och 2, samt mellan 0 och 1.



Figur 4. Förändringen av basmättnadsgraden (i %) i O-horisonten mellan inventeringsperioderna 1983-1987 och 2003-2012 uppdelat på de nya klimatklasserna. De blå staplarna visar medelvärden för förändringen i basmättnadsgrad inom respektive klimatklass och felstaplarna visar medelfelet. Signifikanta skillnader i förändringen av basmättnadsgraden mellan klimatklasserna -2 och -1, -2 och 1, samt mellan -2 och 2.



Figur 5. Förändringen av effektiv basmättnadsgrad (i %) i O-horisonten mellan inventeringsperioderna 1983-1987 och 2003-2012 uppdelat på de nya klimatklasserna. De blå staplarna visar medelvärden för förändringen i effektiv basmättnadsgrad inom respektive klimatklass och felstaplarna visar medelfelet. Signifikant skillnad i förändringen av effektiv basmättnadsgrad mellan klimatklasserna -1 och 0.



Figur 6. Förändringen av utbytbart Al (mmolc/kg torrsubstans) i O-horisonten mellan inventeringsperioderna 1993-2002 och 2003-2012 uppdelat på de nya klimatklasserna. Signifikanta skillnader i förändringen av utbytbart Al mellan klimatklasserna -1 och 0, samt mellan -1 och 1.

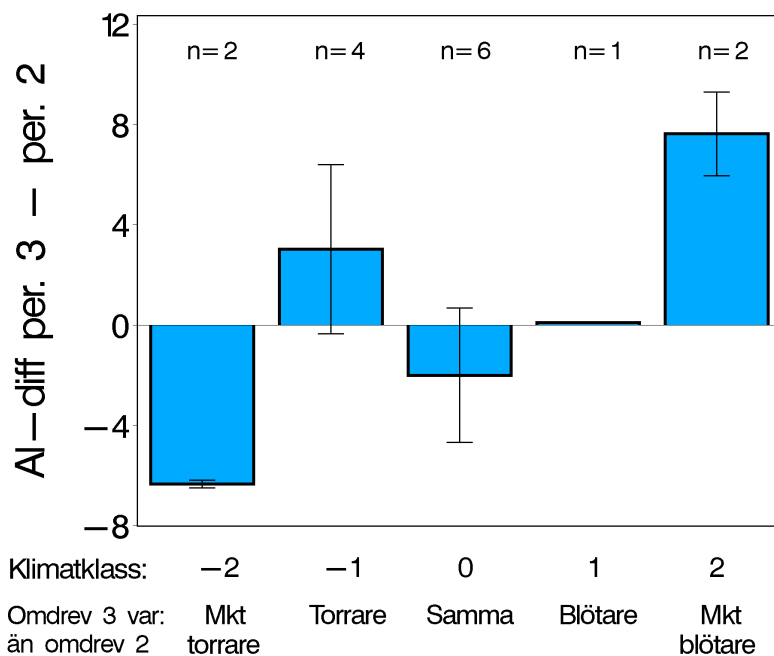
Klimatets påverkan på markkemin i B-horisonten

Av de 32 provtytor, som valdes ut för att undersöka om klimatet hade någon inverkan på markkemin i O-horisonten, så fanns det 15 provtytor där prov även tagits från B-horisonten och analyserats. Skillnaden i medelvärde för några av de studerade markkemiska variablerna i B-horisonten var ganska påtaglig mellan omdreven (Tabell 7), men variansanalys visade att dessa skillnader inte var signifikanta.

Klimatklassificeringen var densamma som för O-horisonten. Eftersom det bara var 15 provtytor att studera m.a.p. B-horisonten blev det få ytor inom varje klimatklass. Därmed blev det också svårt att påvisa några signifikanta skillnader mellan klimatklasserna. Den enda signifikanta skillnaden som kunde påvisas var för jämförelsen av utbytbart Al mellan omdrev 3 och omdrev 2 och då mellan klimatklass -2 och klimatklass 2 (Figur 7).

Tabell 7. Medelvärde, minimi- och maximivärden, samt standardavvikelse för pH-H₂O, utbytbart Al (mmolc/kg torrsustans), totalaciditet (mmolc/kg torrsustans), basmättnadsgrad (%) och effektiv basmättnadsgrad (%) i B-horisonten från de 15 utvalda provytorna.

Variabel	Medel	Min.	Max	St. avvikelse
<u>Period: 1983-1987</u>				
pH-H ₂ O	4.744	3.94	5.46	0.373
Utbytbart Al	6.813	2.80	13.90	2.805
Totalaciditet	78.10	44.0	117.7	19.41
Basmättnadsgrad	2.868	0.779	9.880	2.135
Eff. basmättnadsgrad	25.23	6.081	57.39	13.28
<u>Period: 1993-2002</u>				
pH-H ₂ O	4.685	4.25	5.12	0.275
Utbytbart Al	7.303	2.68	16.28	4.053
Totalaciditet	65.11	21.24	116.9	25.97
Basmättnadsgrad	3.308	1.15	11.19	2.980
Eff. basmättnadsgrad	22.45	7.548	60.22	15.30
<u>Period: 2003-2012</u>				
pH-H ₂ O	4.528	3.69	5.06	0.342
Utbytbart Al	7.484	1.802	13.60	3.246
Totalaciditet	76.57	19.46	134.3	29.38
Basmättnadsgrad	2.994	0.984	6.383	1.606
Eff. basmättnadsgrad	23.32	9.443	41.09	10.23



Figur 7. Förändringen av utbytbart Al (mmolc/kg torrsustans) i B-horisonten mellan inventeringsperioderna 1993-2002 och 2003-2012 uppdelat på de nya klimatklasserna. Signifikanta skillnader i förändringen av utbytbart Al mellan klimatklasserna -2 och 2.

Diskussion

Vår hypotes var att markprover med provtagningsdatum som föregåtts av 14 dagars relativt torrt och varmt väder skulle ha lägre pH, basmättnadsgrad och högre halter av utbytbart Al, samt totalaciditet, jämfört med när markproverna har tagits vid tillfällen med blött och kallt väder.

Vid vår genomgång av 32 utvalda provtytor kunde vi notera att denna hypotes stämde in i några enstaka fall.

För prov från O-horisonten:

- 5 provtytor, som vid provtagningen under inventeringsperioden 2003-2012 hade mycket torrare klimat än när provtytorna provtogs under inventeringsperioden 1983-1987, hade signifikant minskat pH-värde jämfört med 12 provtytor där klimatet varit något blötare eller samma under inventeringsperioden 2003-2012 (Fig. 2).
- 6 resp. 10 provtytor, som vid provtagningen under inventeringsperioden 2003-2012 hade blötare eller mycket blötare klimat än när provtytorna provtogs under inventeringsperioden 1983-1987, hade signifikant minskade halter av utbytbart Al jämfört med 6 provtytor där klimatet varit ungefär detsamma. 5 provtytor, som under 2003-2012 hade mycket torrare klimat än under 1983-1987, hade signifikant ökade halter av utbytbart Al jämfört med 5 provtytor där klimatet varit något torrare (Fig. 3). (Å andra sidan hade de 5 provtytorna där klimatet varit något torrare under den senare inventeringsperioden uppvisat signifikant minskade halter jämfört med de 6 provtytor där klimatet varit ungefär detsamma (Fig. 3).)
- 5 provtytor, som vid provtagningen under inventeringsperioden 2003-2012 hade mycket torrare klimat än när provtytorna provtogs under inventeringsperioden 1983-1987, hade signifikant minskad basmättnadsgrad jämfört med provtytor där klimatet varit något torrare (n=5), blötare (n=6) eller mycket blötare (n=10), (Fig. 4).

I de flesta andra fall fanns inga signifikanta skillnader mellan klimatklasserna, eller så motsade resultaten hypotesen (ex. Fig. 5 och Fig. 7).

Det finns flera orsaker till att vår hypotes inte stämde. Den främsta orsaken är troligen att markprovtagning är en destruktiv provtagning, d.v.s. exakt samma markprov kan inte provtas mer än en gång. Dessutom rör man om i marken i den grop provtagningen skedde. Förnyade markprovtagningar inom samma provyta måste därför tas någon eller några meter ifrån de tidigare markprovtagningarna. Detta gör inom Markinventeringen. Även om de återkommande markprovtagningarna görs bara någon eller några meter från föregående provtagningar, så kan den rumsliga variationen i markkemin vara stor. Detta har sedan många år tillbaks redovisats i många olika undersökningar i skogsmark i andra länder (exv. Blyth & McLeod, 1978; Riha m.fl., 1986; Ilvesniemi, 1991; Göttlein & Stanjek, 1996; Bruelheide & Udelhoven, 2005; Sabatini m.fl., 2015), men även i Sverige (exv. Nykvist & Skjellberg, 1989; Bringmark, 1989; Bringmark & Bringmark, 1998). Denna rumsliga variation kan vara större än exempelvis säsongsvariationen (Papritz & Flühler, 1992).

När ytan eller heterogeniteten hos en yta ökar så ökar i regel också den rumsliga variationen i markkemin (Lawrence m.fl., 2013). I en skogsmark finns det många faktorer som bidrar till att den rumsliga variationen kan vara stor även på mikroskala (mm eller cm). I regel är den rumsliga variationen störst i de markytanära jordlagren för att minska med markdjupet. Detta beror bl.a. på mikrotopografin, förekomsten och närheten till stenar, block, samt olika träd och annan vegetation (inkl. deras rötter), aktiviteten och fekalier från större djur, men även på att de markfysikaliska och




markbiologiska processerna främst sker i dessa markytinära jordlagren och att detta då även påverkar markkemin i dessa lager.

Skogsbruksåtgärder (gödsling, kalkning, avverkning, dikning m.m.) kan också medföra både rumslig och tidsmässig variation i markkemin på olika markdjup undre längre perioder.

Det hade varit intressant att undersöka om ett större antal ingående provtytor hade gett ett annat resultat. Detta skulle dock medföra en mycket större arbetsinsats och det finns inget i detta 'pilotprojekt' som tyder på att resultatet skulle bli annorlunda. Andra faktorer och främst då den rumsliga variationen överspeglar i regel de variationer i markkemin som orsakas av klimatfaktorer. För att studera hur klimatfaktorerna påverkar markkemin krävs att provtagningen görs under mer kontrollerande förhållanden. Markprovtagning är som redan nämnts en destruktiv provtagning som omöjliggör att exakt samma markvolym provtas igen. Eftersom den rumsliga variationen kan uppträda i mikroskala krävs därför i regel en icke-destruktiv provtagning, exempelvis i form av markvattenprovtagning från installerade lysimetrar, för att kunna detektera tidsmässiga variationer i markkemin.

Litteratur

- Blyth, J.F., McLeod, D.A. 1978. The significance of soil variability for forest soil studies in north-east Scotland. *Journal of Soil Science* 29: 420-431.
- Bowser, W.E., Leat, J.N. 1958. Seasonal pH fluctuations in a Grey Wooded soil. *Canadian Journal of Soil Science* 38: 128-133.
- Bringmark, E. 1989. Spatial variation in soil pH of beech forests in relation to buffering properties and soil depths. *Oikos* 54: 165-177.
- Bringmark, E., Bringmark, L. 1998. Improved soil monitoring by use of spatial patterns. *Ambio* 27:45–52.
- Bruehlheide, H., Udelhoven, P. 2005. Correspondence of the fine-scale spatial variation in soil chemistry and the herb layer vegetation in beech forests. *Forest Ecology and Management* 210: 205-223.
- Göttlein, A., Stanjek, H. 1996. Micro-scale variation of solid-phase properties and soil solution chemistry in a forest podzol and its relation to soil horizons. *European Journal of Soil Science* 47: 627-636.
- Haines, S.G., Cleveland, G. 1981. Seasonal variation in properties of five forest soils in southwest Georgia. *Soil Science Society of America Journal* 45: 139-143.
- Ilvesniemi, H. 1991. Spatial and temporal variation of soil chemical characteristics in pine sites in southern Finland. *Silva Fennica* 25(2): 99-108.
- Lundell, Y. 1987. Nutrient variation in forest soil samples due to time of sampling and method of storage. *Plant and Soil* 98:363-375.
- Nehring, K. 1935. Über die Schwankungen der Reaktionsverhältnisse im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 40: 137-141.
- Nilsson, T., Stendahl, J., Löfgren, S. 2015. Markförhållanden i svensk skogsmark – data från Markinventeringen 1993-2002. Rapport 19, institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet. 58 sid.
- Nykvist, N., Skyllberg, U. 1989. The spatial variation of pH in the mor layer of some coniferous forest stands in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 4:3-11.
- Papritz, A., Flühler, H. 1992. Measurement of pH in a forest soil: does spatial variability hide significant temporal change? In: Teller, A. et al.: *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes*. Elsevier. pp: 793-794.
- Riha, S.J., James, B.R., Senesac, G.P., Pallant, E. 1986b. Spatial variability of soil pH and organic matter in forest plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1347-1352.
- Sabatini, F.M., Zanini, M., Dowgiallo, G., Burrascano, S. 2015. Multiscale heterogeneity of topsoil properties in southern European old-growth forests. *European Journal of Forest Research* 134: 911-925.
- Skyllberg, U. 1991. Seasonal variation of pH_{H2O} and pH_{CaCl2} in centimeter-layers of mor humus in a *Picea abies* (L.) Karst. stand. *Scand. J. For. Res.* 6(1): 3-18.
- Slattery, W.J., Ronnfeldt, G.R. 1992. Seasonal variation of pH, aluminium and manganese in acid soils from north-eastern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32: 1105-1112.
- Wuest, S.B. 2015. Seasonal variation in soil bulk density, organic nitrogen, available phosphorus, and pH. *Soil Science Society of America Journal* 79:1188–1197.

Bilaga 1. Resultatet av den enkla klimatklassificeringen för de 32 utvalda provytorna under de tre inventeringsperioderna (omdrevnen). Provytebeteckningen är det s.k. Unikyta-numreringen inom Markinventeringen. Klimatklassificeringen: Blött:  Normalt:  Torrt: 

Provyta	Inventeringsperiod 1983-1987	Inventeringsperiod 1993-2002	Inventeringsperiod 2003-2012
	Datum för provtagning och klimatklassificering (0-14 dagar innan provtagningen)	Datum för provtagning och klimatklassificering (0-14 dagar innan provtagningen)	Datum för provtagning och klimatklassificering (0-14 dagar innan provtagningen)
853549305	1985-05-20	1996-06-24	2005-08-09
853573105	1985-07-09	1996-06-26	2005-08-23
853590105	1985-07-02	2000-06-08	2010-08-09
853638305	1985-09-19	2000-06-06	2010-08-21
854523104	1985-05-29	1996-05-31	2005-08-24
854553304	1985-08-29	1996-08-20	2005-09-22
854562304	1985-09-03	2000-07-03	2010-06-14
854669104	1985-09-26	1996-07-29	2005-06-09
854690104	1985-07-29	1996-06-04	2005-09-21
855633203	1985-05-29	1996-07-18	2005-06-14
855673203	1985-07-03	2000-07-12	2010-06-28
855681203	1985-06-11	1996-07-31	2005-06-01
863506305	1986-08-26	1997-07-01	2006-07-17
863567305	1986-06-26	2001-06-12	2011-06-09
863576105	1986-09-09	1997-06-14	2006-06-14
863616105	1986-07-08	2001-07-12	2011-06-15
864508304	1986-07-15	2001-06-19	2011-07-19
864509304	1986-07-22	1997-07-09	2006-06-06
864567104	1986-06-02	1997-06-04	2006-08-25
864569104	1986-06-05	1997-06-12	2006-06-12
864590104	1986-06-04	2001-06-11	2011-08-24
864642304	1986-09-12	2001-06-20	2011-09-13
864712104	1986-10-09	2001-07-18	2011-09-13
865551203	1986-06-17	1997-06-25	2006-06-19
865668203	1986-08-07	2001-05-23	2011-07-20
873553305	1987-05-26	2002-07-20	2012-07-02
874552104	1987-06-10	2002-05-24	2012-07-31
874561304	1987-05-20	2002-05-27	2012-08-15
874690304	1987-08-25	1998-06-23	2007-06-03
875607203	1987-08-31	2002-09-06	2012-08-08
875647203	1987-05-12	2002-06-28	2012-06-05
875679203	1987-05-26	2002-09-03	2012-07-12